

Wie kommt die Erkenntnistheorie in den Physikunterricht?

Gekürzte Fassung eines Vortrags
auf dem 100. MNU-Kongress in Regensburg am 6.4.2009

JOSEF LEISEN

»Wo Physik gelehrt wird, da fallen erkenntnistheoretische ›Späne!« – das ist die zentrale These, die in diesem Beitrag vertreten und anhand zahlreicher Beispiele aus dem Physikunterricht illustriert wird. Der Anspruch der Physik, als unverzichtbarer Teil der allgemeinen Bildung zu gelten, lässt sich ohne Hinweis auf ihre erkenntnistheoretischen Fundamente kaum begründen. Auch unter bildungspolitischen Gesichtspunkten ist die Fragestellung daher von Belang.

1 Einleitung

Eine aufmerksame Physiklehrkraft wird die Frage sofort als Programm verstehen, als Aufforderung, im Physikunterricht doch bitteschön Erkenntnistheorie zu betreiben. Daraus kann sich folgender Dialog entwickeln:

»Wie? Soll ich jetzt auch noch Erkenntnistheorie im Physikunterricht unterrichten?«

»Ja! Sie wollen doch, dass Ihre Schüler Erkenntnisse haben.«

»Aber das ist doch Philosophie, keine Physik.«

»Ja, Physik ist oft auch Philosophie.«

»Aber dafür bin ich doch gar nicht ausgebildet, das habe ich nicht studiert. Wie soll ich das denn im Unterricht machen?«

»Sie treiben schon Erkenntnistheorie in Ihrem Physikunterricht, wie immer Sie auch unterrichten! Man kann nämlich beim Lehren nicht Nicht-Erkenntnistheorie betreiben. Wo Physik betrieben wird, wo Physik gelehrt wird, da fallen erkenntnistheoretische ›Späne!«

»Ja, wenn Sie das so meinen, dann betreibe ich schon Erkenntnistheorie, aber nicht so richtig, oder? Welche Erkenntnistheorie ist denn die ›wahre‹ oder die ›richtige‹, wenn Sie wissen, was ich meine?«

»Die philosophische Disziplin der Erkenntnistheorie ist nicht Gegenstand des Physikunterrichts. Wir betreiben »gute« Physik und entfalten daran erkenntnistheoretische Fragestellungen, die sich auf tun, ja aufdrängen, wenn man es denn zulässt und herauskitzelt.«

In der angerissenen Thematik stecken mehrere Fragen:

- Was ist Erkenntnis?
- Was ist Erkenntnistheorie?
- Welche Erkenntnistheorie soll es im Physikunterricht sein?
- Worin liegt der Bildungswert der Erkenntnistheorie im Physikunterricht?
- Wo liegt das erkenntnistheoretische Potenzial im Physikunterricht?
- Wie könnte eine Didaktik der Erkenntnistheorie aussehen?
- Wie lernt man Erkenntnistheorie im Physikunterricht zu unterrichten?
- Wie wird Erkenntnistheorie im Physikunterricht unterrichtet?

Dieser Beitrag beschränkt sich auf die letzte Frage und streift die anderen in gebotener Kürze.

Wie kommt die Erkenntnistheorie in den Physikunterricht? Sie muss nicht erst in den Physikunterricht kommen, sie ist nämlich schon da, sie muss ›nur‹ freigelegt werden. Das ›nur‹ könnte zynisch klingen, ähnlich wie bei MICHELANGELO, der bekanntlich sinngemäß sagte: »Die Statue des David war schon im Marmorblock drin, ich habe sie ›nur‹ freigelegt«. Das Freilegen der Erkenntnistheorie im Physikunterricht braucht indes nicht ein vergleichbares Genie vom Format eines MICHELANGELO, sondern ist von jeder Physiklehrkraft leistbar, wenn sie nur aufmerksam ist.

2 Ist der Gegenstand im Dunkeln auch rot?

Es sind die merkwürdigen Fragen, die zum erkenntnistheoretischen Nachdenken anregen. Die Optik ist das erste Gebiet, das im Physikunterricht behandelt wird und man kann altergemäß erkenntnistheoretisch ertragreiche Fragen aufwerfen.

Man zeigt den Schülern der 8. Klasse einen roten Gegenstand und fragt: »Ist der im Dunkeln auch rot?« Unterschiedliche Hypothesen werden aufgestellt, etwa dass »Rotsein« eine Eigenschaft des Körpers sei bzw. dass es auf das Licht ankomme. Mit der Bogenlampe und dem Geradesichtprisma erzeugt man ein eindrucksvolles helles Spektrum und führt einen Gegenstand (z. B. Turm aus Legosteinen) mit Streifenmuster möglichst in Spektralfarben durch das Spektrum und man sieht die Farbumschläge. Eine Erkenntnis drängt sich auf: Der Gegenstand ist nicht rot, sondern das Licht macht ihn erst rot. Das Licht macht den Gegenstand rot, wenn er denn für das »Rotsein« geeignet ist, d. h. bestrahle ich ihn mit rotem Licht, dann muss er rot erscheinen, er muss also auf Rot ansprechen.

Worin liegt das erkenntnistheoretische Potenzial dieses Themas?

Vorsicht bei ontologischen Zuschreibungen! Das Erkennen hängt vom Gegenstand und von den Bedingungen meiner Wahrnehmung ab. Ohne Angabe der Wahrnehmungsbedingungen gibt es keine verlässliche Erkenntnis. Aber was heißt hier verlässlich?

3 Kann ich meinen Augen trauen?

In einem ersten Experiment werden die Schüler mit farbigen Schatten und der Erkenntnis vertraut gemacht, dass Schatten »Fehlen von Licht« bedeutet. Eine systematische Analyse im völlig abgedunkelten Raum führt zu den Mischungsregeln der additiven Farbmischung. Ist der Raum aber nicht ganz abgedunkelt, so werden die Halbschatten durch die nur blaue Lampe magenta und durch die nur grüne Lampe gelb wahrgenommen und der Kernschatten erscheint orangerot. Wieso? Ein weißes Blatt wird bei unterschiedlicher Beleuchtung vom menschlichen Sehsinn immer weiß wahrgenommen (Farbkonstanz). So erscheint die Wand im Tageslicht weiß. Durch die blaue und grüne Lampe erscheint sie durch additive Farbmischung cyanfarbig. Um das Weiß zu erhalten, fügt unser Wahrnehmungsapparat die Komplementärfarbe Orangerot dazu. Im Kernschattenbereich bleibt nur dieses artifizielle Orange übrig. Der physikalisch grüne Halbschatten erscheint in der additiven Mischfarbe aus Orange und Grün, also gelb und der blaue Halbschatten wird zu Magenta umgestimmt (MUCKENFUSS 2000, 111).

Meine Wahrnehmung wird nicht nur durch den Gegenstand und das Licht bestimmt, sondern maßgeblich durch meinen Wahrnehmungsapparat, der hier einen so genannten »Weißabgleich« durchführt und die Dinge in einem »anderen Licht«

erscheinen lässt. Es handelt sich um einen physiologisch-psychologischen Effekt.

Worin liegt das erkenntnistheoretische Potenzial dieses Themas?

Meine Wahrnehmung ist nur bedingt verlässlich, wie auch die vielen anderen optischen Täuschungen belegen. Mein Wahrnehmungsapparat allein garantiert keine »objektiven Phänomene«. Das wirft verschiedene Fragen auf: Wie kann ich mich von Wahrnehmungstäuschungen befreien und »objektive Phänomene« garantieren, etwa durch Messtechniken oder durch Theorien? Inwieweit führen uns erklärende Theorien (Modelle) zu Erkenntnissen und Gewissheiten?

4 Ist der Stab scheinbar oder wirklich geknickt?

Der geknickte Stab ist ein bekanntes Phänomen mit erkenntnistheoretischem Potenzial.

»Der Stab ist *scheinbar* nach oben geknickt, weil das Licht *wirklich* nach unten gebrochen wird.« Dieser Satz ist ein semantischer Stolperstein und bringt den Lerner in eine produktive kognitive Lücke, die er zum Verstehen schließen muss. Auf die paradox anmutende Formulierung muss sich der Lerner in seinem Kopf einen Reim machen.

Eigene Experimente und Beobachtungen helfen dabei und sind unerlässlich, um die Erkenntnis der optischen Hebung zu verankern, nämlich den Lichtweg und die Wahrnehmung passend zu kombinieren.

Erfahrungsgemäß ringen die Kinder interessiert um die Unterschiede zwischen Realität (als das was ist), Wirklichkeit (als das was ich mir über das Reale denke) und Scheinbarkeit (als das was ich mit meinen Sinnen wahrnehme).

Worin liegt das erkenntnistheoretische Potenzial dieses Themas?

Nicht unsere Wahrnehmung allein bestimmt über Realität, Wirklichkeit und Scheinbarkeit, sondern erst die erklärende Theorie, das »denkende Sehen«. Sie führt uns zu Gewissheiten. Erkenntnistheoretische Redlichkeit gebietet uns zu akzeptieren, dass diese Gewissheiten vorläufig und immer nur solche auf Probe sind. Die Theorie zeigt sich hier in ihrem aufklärenden Charakter. Das Zusammenspiel von Wahrnehmung und Theorie bestimmen den Erkenntnisprozess. »Wahrnehmung muss gelernt werden« sagt KANT. Neben die Wahrnehmungserkenntnis tritt gleichberechtigt die wissenschaftliche Erkenntnis. Wie ist das Zusammenspiel von individuellen Vorstellungen und wissenschaftlicher Erkenntnis?

5 Wie stelle ich mir elektrischen Strom richtig vor?

In der 1. Stunde der Elektrizitätslehre in der Klasse 9 wird ein einfacher Stromkreis mit Batterie, Kabeln und leuchtender Lampe aufgebaut. In den Leitungen muss doch irgend etwas passieren? Die Schüler sollen in einem »Gedankenmikroskop« zeichnen, was sie sich darin vorstellen. Die Ergebnisse sind verblüffend vielfältig (Abb. 1).

Abb. 1.

Worin liegt das erkenntnistheoretische Potenzial dieses Themas?

Hier stellt sich die Frage der Richtigkeit, nicht der Wahrheit. Es gibt so viele Vorstellungen über physikalische Vorgänge wie es Köpfe gibt. Es sind Konstruktionen zum Zwecke des Verstehens. Verstehen heißt, dass das Bild zum momentanen Wissen passt, dass es stimmig ist. Erkenntnisse sind meine Konstruktionen. Andere mögen andere Konstruktionen haben. Hier stellt sich nicht die Frage nach der Wahrheit, sondern die Frage nach der Richtigkeit der Konstruktionen. Darüber entscheiden die Passung innerhalb des theoretischen Systems sowie der wis-

senschaftliche Diskurs. Wissenschaftliche Erkenntnis wird damit zur öffentlichen Erkenntnis. Wie wird wissenschaftliche Erkenntnis im Diskurs erstritten?

6 Können Sie mir mal Atome zeigen?

Größenordnungen in der Natur sind das Thema in Klasse 9. Anhand des Films »zehn hoch« wird eine Reise durch den Mikrokosmos und Makrokosmos unternommen. Schnell stellt sich dann die philosophische Kernfrage: Glauben wir oder wissen wir in der Physik? Ein Dialog (siehe J. LEISEN, 1999) führt dahin.

Worin liegt das erkenntnistheoretische Potenzial dieses Themas?

Wir müssen zwischen Realität und Wirklichkeit unterscheiden. Realität ist das, was uns in der Wahrnehmung gegenübertritt oder gegenübertritt. Wirklichkeit ist das, was unser Gehirn konstruiert. Die Wirklichkeit wird also nicht gefunden, sondern von einem Beobachter erfunden. Unsere Wahrnehmung und die Erkenntnis hängen von den Begriffskonstruktionen ab, genauso wie die Interpretation von Phänomenen. Wahrnehmung und Deutung von Phänomenen hängen maßgeblich vom Theoried Hintergrund ab. Wie bestimmen unsere Vorstellungen und unser Vorwissen, was wir beobachten und was wir erkennen?

7 Welche Farbe haben die Elektronen?

Wenn Sie die Elektronenstrahlröhre behandeln stellen Sie doch beiläufig folgende Frage: Welche Farbe haben die Elektronen? Es könnte die Antwort kommen: blau. Das wäre die Steilvorlage, um erkenntnistheoretische Fragen zu thematisieren:

Was leuchtet da in blauer Farbe?

Was rechtfertigt da deutend Elektronen zu »sehen«?

Wie ist da das Verhältnis von Wahrnehmung und Deutung?

Was macht uns sicher, dass es sich da um Elektronen handelt?

Analogien helfen weiter: An einem wolkenlosen klaren Himmel sehen wir einen Kondensstreifen, der sich an der Spitze entstehend vorwärts schiebt und am Ende sich zerzausend auflöst. Wir schließen behauptend: Das ist die Bahn eines Düsenflugzeugs, das vor einigen Minuten dort flog und inzwischen aus unserem Gesichtsfeld herausgeflogen ist. Kein Zweifel das Flugzeug war da, schließlich haben wir schon einmal gesehen, wie ein Flugzeug Streifen verursacht. Analog verhält es sich in der Elektronenstrahlröhre. Das Verursachen müssen wir jedoch indirekt erschließen über Ablenkversuche, die uns Auskunft über das Vorzeichen der Ladung und deren Masse geben. So erhalten wir Kenngrößen, die genau auf den Steckbrief des Elektrons passen.

Worin liegt das erkenntnistheoretische Potenzial dieses Themas?

Wir haben es hier mit einem produzierten Phänomen zu tun. Elektronenstrahlröhren kommen in der Natur nicht vor, wohl aber »ungezähmte Elektronenstrahlphänomene« (Blitz, Nordlichter, Van-Allen-Gürtel, ...). Erkenntnisse aus Elektronenstrahlröhren lassen sich nicht durch bloße Anschauung gewinnen, sondern nur im Rahmen eines Begriffsgerüsts und einer Theorie. Begriffs- und Theoriekenntnisse sind Voraussetzung für das Erkennen. Nur wer künstliche Kondensstreifen durch Flugzeuge kennt, identifiziert sie als solche. Wem solche Erfahrungen fremd sind und wer ein mythologisches Weltbild hat, der wird die Streifen womöglich als Zeichen der Götter deuten. Wahrnehmung und Deutung hängen vom Theoried Hintergrund ab. Bestimmt die Theorie, was wir beobachten, was wir erkennen?

8 Warum konnte Aristoteles keine Fallröhre bauen?

»Weil es die dafür notwendige Technik noch nicht gab.« Nein, das ist nicht die Antwort. Die Fallröhre war für ARISTOTELES kein Erkenntnisgenerator, weil das Vakuum für ARISTOTELES denkmöglich war.

C. F. VON WEIZSÄCKER (1964, 107) formulierte es folgendermaßen: »GALILEI wagte es, die Welt so zu betrachten, wie wir sie gerade nicht erfahren.« GALILEI wagte es den Fall im Vakuum zu denken und gerade nicht den Fall in Luft, wie in der aristotelischen Physik. Das ist das revolutionär Neue an seiner Betrachtungsweise. GALILEI musste sich erst von den realen Erfahrungen des Fallens im Alltag lösen, um eine ideale Fallbewegung zu denken. Die moderne »c_w-Wert-Ingenieur-Physik« hat zwar denselben Untersuchungsgegenstand wie die aristotelische »Realphysik«, unterscheidet sich aber genauso fundamental von ihr wie die galileische »Idealphysik«. Um das zu verstehen, muss man um die Grundzüge der aristotelischen Physik wissen.

Im Gegensatz zum modernen Physikverständnis ist in der Antike der *Gegenstandsbereich* wissenschaftlicher Betrachtungen beträchtlich umfassender. Die materielle Natur und die immateriellen Prinzipien gehören ebenso dazu wie die Veränderungen stofflicher wie nichtstofflicher Art. Darüber hinaus gibt es auch, nach heutigem Verständnis, Teilgebiete der Physik, die im Selbstverständnis der antiken Zeit nicht zur Physik gezählt wurden. So etwa werden die Gesetze der Statik und Hydrostatik als nicht der Physik zugehörig angesehen, sondern dem Bereich der Kunst (Technik), weil sie widernatürliche Wirkungen und Bewegungen behandelt (vgl. F. KRAFFT 1970, 137ff). Die so gewonnenen Gesetze dienen der Überlistung der Natur, beschreiben künstliche, durch menschliche List erzeugte Bewegungen und gehören damit in den Bereich der mathematischen Künste. Die Mechanik als angewandte Mathematik gehört nicht in den Bereich der Wissenschaft von der Natur, so dass ihre Ergebnisse keine Rückwirkungen auf die Physik haben und keine physikalischen Erkenntnisse initiieren können, weil sie einem anderen Seinsbereich angehört.

Worin liegt das erkenntnistheoretische Potenzial dieses Themas?

Das was als Erkenntnis generierend angesehen und akzeptiert wird, hängt wesentlich von den metaphysischen Hintergrundüberzeugungen und den kulturellen Erkenntnisgewohnheiten ab. Auch hier zeigt sich wieder, dass die wissenschaftstheoretischen Auffassungen (Theorien) bestimmen, was wir wahrnehmen und erkennen. Welche erkenntnistheoretische Rolle spielt die Theorie? In wie weit ist die Theorie ein Erkenntnisgenerator oder eine Erkenntnisbremse? Wie hängt unsere wissenschaftliche Erkenntnis von unserem Erkenntnisapparat ab? Die Grenzen unserer Erkenntnis werden nicht immer durch das Können, sondern auch durch das Wollen begrenzt. Was bestimmt, was wir erkennen wollen?

9 Was treibt die Fernrohrverweigerer um?

BERTOLT BRECHT (1967, 47) hat in seinem »Leben des Galilei« eine wunderschöne Schlüsselszene:

DER PHILOSOPH ... Herr GALILEI, bevor wir Ihr berühmtes Rohr applizieren, möchten wir um das Vergnügen eines Disputs bitten. Thema: Können solche Planeten existieren?

DER MATHEMATIKER Eines formalen Disputs.

GALILEI Ich dachte mir, Sie schauen einfach durch das Fernrohr und überzeugen sich?

...

DER MATHEMATIKER Gewiß, gewiß. – Es ist Ihnen natürlich bekannt, daß nach der Ansicht der Alten Sterne nicht möglich sind, die um einen anderen Mittelpunkt als die Erde kreisen, noch solche

Sterne, die im Himmel keine Stütze haben?

GALILEI Ja.

DER PHILOSOPH Und, ganz absehend von der Möglichkeit solcher Sterne, die der Mathematiker – er verbeugt sich gegen den Mathematiker – zu bezweifeln scheint, möchte ich in aller Bescheidenheit als Philosoph die Frage aufwerfen: sind solche Sterne nötig?

Ist die Wahrheit im Buch der Natur oder in den Büchern der »Alten« zu lesen? Die Traditionalisten und Gegenspieler GALILEIS waren der Auffassung, dass die »Alten« der Wahrheit näher waren, und folgerichtig waren deren Bücher die Quelle der Wahrheit und nicht technische Apparaturen. Wir können uns heute kaum vorstellen, welch ungeheurer Sprung damals nötig war, um das Fernrohr als Erkenntnisquelle zu akzeptieren. Das »Sichtbarkeitspostulat« (vgl. H. BLUMENBERG, 1980) stand dagegen, wonach das Erkennbare dem Menschen sichtbar ist und wonach es nichts geben kann, was unsichtbar und der natürlichen Ausstattung des Menschen entzogen ist. Was also hätte ein Vertreter der alten Wissenschaft beim Blick durch das Fernrohr wahrgenommen? Punkte, aber konnten diese für jemanden, der die Funktionsweise des Fernrohres nicht kannte eine andere Qualität haben als eine optische Täuschung? Schließlich kann man auch dann Sterne sehen, »wenn man sich die Augen drückt« spottet der Aufklärer GEORG CHRISTOPH LICHTENBERG. Weiße Flecken im Rohr, das GALILEI auf den Jupiter mit seinen Monden richtete, legen auch andere Deutungen nahe als dass es sich dabei ausgerechnet um wirkliche Himmelskörper handelt (vgl. H. J. SCHLICHTING). GALILEIS deklarierte Entdeckung überzeugt nur jene, die die das Teleskop als »Augenverstärker« akzeptieren.

Worin liegt das erkenntnistheoretische Potenzial dieses Themas?

Phänomene sind die empirische Basis der Physik. Ein Phänomen ist erst dann ein Phänomen, wenn es wahrgenommen wird. Ein nicht wahrgenommenes Phänomen ist keins. Theorien erzeugen in hohem Maße Phänomene, erzeugen also ihre empirische Basis selbst. Wahrnehmungen ohne interpretierende Theorie sind erkenntnistheoretisch wertlos. GALILEI besaß keine verifizierte Theorie des Fernrohres. In den Augen seiner Gegner schuf er damit bloß Artefakte, die sie nicht als »Beweismittel« akzeptierten. Die Frage ist hier, was vor dem »Gerichtshof der Wissenschaft« als »Beweismittel« für die Erkenntnis zugelassen wird. Die Frage nach Sichtbarkeit, Evidenz, Glaubwürdigkeit, Verifikation oder Falsifikation gehen Schüler mit großem Interesse an. Die Selbstverständlichkeit mit der wir zwischengeschaltete Medien und virtuelle Welten nutzen wird durch den Kontrast zu anderen, z. B. historischen Wissenschaftsauffassungen hinterfragend aufgebrochen. Wie kann über die Evidenzfrage erkenntnistheoretisch entschieden werden?

10 Wie erkennt die »Neue Wissenschaft«?

Das Fresko von BEZZUOLI in Florenz illustriert den Schülern eingängig und bildhaft die historische Situation des erkenntnistheoretischen Umbruchs in der beginnenden Neuzeit (Abb. 2).

Abb. 2.

Im Zentrum dient sich GALILEI dem Herzog von Florenz ehrerbietig an. Zentral platziert ist die Fallrinne, als Exempel der neuen Art Erkenntnisquellen zu konstruieren. Udenkbar für jene, die die Erkenntnis in den Quellen der alten Denker suchen. Ihre Vertreter sind versunken in das Studium der Bücher und in die Exegese der alten Denker. Schon abgedrängt am linken Bildrand hocken sie um den drapierten Studiertisch herum und nehmen die andere Welt schon gar nicht mehr wahr, zumal sie ihr den Rücken zuwenden. Lediglich ein Vertreter wagt verstört einen verständnislosen Blick auf die aufregende Welt der

neuen Wissenschaften wo sich eine Menge tut. Das junge Volk im Hintergrund, aber doch in der Bildmitte platziert, drängt lebendig, ja stürmisch auf die neue Wissenschaft zu. Neugierig und zaghaft nähert sich eine Person aus dem Hintergrund dem Geschehen. Zwei Vertreter der neuen Wissenschaft diskutieren im Zentrum stehend über das Experiment mit der Fallrinne, auf der gerade eine Kugel herabrollt, die von der interessierten Jugend mit Blicken verfolgt wird. Im rechten Bildteil, der alten Wissenschaft genau gegenüber, ist die politische Macht platziert. Dem Mäzen wird zugetragen und vorgetragen. Insignien der neuen Wissenschaft, Himmelsglobus und Bücher liegen vor ihm. Am rechten Rand ist eine melancholisch nachdenkende Person in Denkerpose mit abgewandtem Blick zu sehen. Hinter ihr befindet sich eine hoch stehende Person, die auf das experimentelle Geschehen zeigt und den Denker animiert hinzuschauen. Im Hintergrund dieser höfischen Personengruppe ist eine kleine Gruppe einfacher Bürger platziert, die noch nicht in das Geschehen eingebunden ist, aber vermutlich von den Umwälzungen betroffen sein wird. Das Bild zeigt in anschaulicher Weise die Umbruchsituation um 1600, die durch Auseinandersetzungen zwischen den Vertretern der »alten« und »neuen« Wissenschaft gekennzeichnet ist.

Worin liegt das erkenntnistheoretische Potenzial dieses Themas?

Die experimentelle Methode macht die erkenntnistheoretische Schlagkraft der Neuen Wissenschaft aus. Erstmals produziert die Wissenschaft Phänomene, die sie zum eigenen Erkenntnisgegenstand macht. Mit der experimentellen Methode schafft sich die Neue Wissenschaft die Untersuchungsfragen selbst. Naturwissenschaften denken nicht mehr bloß über Natur nach, sondern gestalten die Natur. Erkenntnisse sind dann immer nur Erkenntnisse über die selbst entworfenen Weltbilder.

11 In welcher Welt leben wir denn?

Astronomie und Kosmologie sind im Physikunterricht Selbstläuferthemen. Das Interesse ist groß und die Lernbereitschaft ist gegeben. Man stelle den Schülern zwei Weltbilder vor, das mit der uns vertrauten Vollerde und das mit der uns nicht vertrauten Hohlwelt (vgl. R. SEXL 1983).

Abb. 3.

Abb. 4.

Die Hohlwelttheorie, auch Innenwelttheorie genannt, geht davon aus, dass wir nicht auf der Oberfläche einer Erdvollkugel leben mit dem Kosmos um uns herum, sondern im Inneren der Erdhohlkugel wo sich auch Sterne, Sonne und Mond befinden (Abb. 4). Der gesamte Kosmos ist im Inneren dieser Erdhohlkugel untergebracht. Diese zunächst abstrus wirkende Theorie scheint offensichtlich falsch und leicht widerlegbar zu sein. Doch wie steht es um die »Richtigkeit« oder »Wahrheit« dieses Weltbildmodells oder des bekannten Vollkugelmodells (Abb. 3)?

Die Schüler sollen astronomische, physikalische, erkenntnistheoretische, wissenschaftstheoretische, philosophische und metaphysische Fragen formulieren, an denen die Hohlwelttheorie scheitern könnte:

- Wie entstehen Tag und Nacht?
- Wie kommt der Horizont zustande?
- Wie erklärt sich die Schwerkraft?
- Wie kann die winzige Sonne die notwendige Energie hervorbringen?
- Was geschah beim Mondflug?
- Zeigen die Bilder der Erde aus dem All nicht eindeutig eine Vollkugel?

- Was ist außerhalb der Erdkugel?

Es ruft Erstaunen bei den Schülern hervor, wenn die Lehrkraft behauptet, alle Erscheinungen in der Hohlwelttheorie erklären zu können. So entsteht ein gelebter Disput. Zu dem Zeitpunkt wissen die Schüler noch nicht, was die Lehrkraft weiß, dass die Hohlwelttheorie mathematisch durch eine Spiegelung der Außenwelt an der Erdkugeloberfläche in deren Inneres erreicht wird.

Eine Involution an der Kugel ist winkeltreu. Geraden außen werden zu Kreisen durch das Erdzentrum. Die Lichtgeschwindigkeit wird raumabhängig und nimmt in Richtung auf das Erdinnere ab, desgleichen schrumpfen die Maßstäbe in der Nähe des Zentrums. Die Sonne, die nur einen Durchmesser von 4 m besitzt, umkreist das Zentrum im Abstand von 300 m. Die Sterne und alle extragalaktischen Objekte (nach gewöhnlicher Auffassung) befinden sich noch näher am Zentrum. Lichtstrahlen breiten sich auf Kreisen aus, die stets durch den Erdmittelpunkt gehen (mathematische Vorgabe). Dabei ist die Lichtgeschwindigkeit nicht etwa konstant, sondern nimmt gegen den Erdmittelpunkt hin quadratisch ab, so dass dieser Punkt der Welt niemals vom Licht erreicht wird. Das Gesetz der Lichtausbreitung erklärt auch das Zustandekommen des Horizonts (Abb. 5) und lässt erkennen, wieso die Erde vom All gesehen, als Vollkugel erscheint. Diese optische Täuschung ist ebenfalls auf die Gesetze der Lichtausbreitung zurückzuführen.

Abb. 5.

Die uns bekannten Gesetze nehmen eine monströsere Form an, so etwa die Newtonsche Bewegungsgleichung (R. SEXL 1983, 455):

$$m \left(\ddot{x} - \frac{4\dot{x}\dot{x}}{r} - \frac{2\ddot{r}x}{r} + \frac{6\dot{r}^2x}{r^2} \right) = \frac{r^2}{R^2} F$$

Die Theorie kann empirisch nicht falsifiziert, sondern nur mit epistemologischen Argumenten als Kandidat für eine wahrheitsgetreue Beschreibung der Realität aus der Welt geschafft werden (KANITSCHIEDER 1984, 384).

Die metaphysischen, philosophischen und erkenntnistheoretischen Argumente der Vertreter sind: »Ist die Hohlwelttheorie nicht von einer wunderbaren Einheitlichkeit? Vom allergrößten (Kosmos) bis zum allerkleinsten (mikroskopisch kleine Eizelle) prägt sie dieselben Verhältnisse. ... Der Mensch entsteht aus dem Ei, diesem Abbild des Kosmos. Die Zellen, aus denen er besteht, sind ein Abbild des Kosmos. Alles Leben entsteht im Inneren einer Hohlkugel.« (J. LANG 1938, 150)

»Für den philosophisch denkenden Menschen ist der Analogieschluss eine durchaus genügende Glaubhaftmachung des neuen Weltbildes der Erdwelt.« (J. LANG 1938, 20)

Worin liegt das erkenntnistheoretische Potenzial dieses Themas?

Hier stellt sich die Frage nach der Wahrheit einer Erkenntnis. Wahrheit bemisst sich danach, ob der festgestellte Sachverhalt vorliegt oder nicht. Damit ist die Wahrheitsfrage zur Evidenzfrage gemacht. Im Disput zwischen den Aristotelikern und GALILEI wurde deutlich, dass Wahrheit auf Vereinbarungen beruht. Nur wenn ich die Evidenzvereinbarungen akzeptiere kann ich eine Erkenntnis als wahr betrachten. Wer von so genannten »tieferen Wahrheiten« spricht meint den Bezug auf metaphysische Hintergrundüberzeugungen im Rang von zugesprochenen und geglaubten Wahrheiten. Die Schüler lernen, dass hier keine Erkenntnisse über die Realität gemacht und ausgetauscht werden, sondern Aussagen über unsere Entwürfe, unsere Weltbilder. Erkenntnisse sind immer nur Erkenntnisse über die selbst entworfenen Weltbilder. Wie stellt sich die Realitätsfrage?

12 Herr BOHR und Herr EINSTEIN, wie halten Sie es mit der Realität?

In der Quantenphysik wird deutlich, dass kein direkt vermittelter Weg vom Phänomen zur Theorie führt. Physik zeigt sich hier als das, was sie ist, nämlich eine *theoriegeleitete Erfahrungswissenschaft*. Das Jönsson-Doppelspaltexperiment ist kein Experiment, aus dem die Theorie heraustropft, wenn man es nur lange genug ›induktiv ausquetscht‹.

Die Erkenntnistheorie war über zweitausend Jahre hinweg die Domäne der Philosophie. HANS REICHENBACH schreibt in seiner »Philosophie der Raum-Zeit-Lehre«: »So stehen wir der merkwürdigen Tatsache gegenüber, dass während des letzten Jahrhunderts eine präzise Theorie der Erkenntnis nicht von Philosophen, sondern von Wissenschaftlern entwickelt wurde und dass bei der Ausführung spezieller wissenschaftlicher Untersuchungen mehr Erkenntnistheorie entstand als im Verlauf philosophischer Spekulation. Und die Probleme, die dabei gelöst wurden, waren wirklich erkenntnistheoretische Probleme« (H. REICHENBACH, 1938). Die erkenntnistheoretischen Debatten – stellvertretend sei hier nur die EPR-Debatte genannt – zeugen davon.

Kopenhagener: Es gibt keine tieferliegende Realität.

Realisten: Es existiert eine vom Beobachter unabhängige Realität.

Worin liegt das erkenntnistheoretische Potenzial dieses Themas?

Die Quantentheorie ist die erkenntnistheoretische Fundgrube schlechthin und wirft fundamentale erkenntnistheoretische Fragestellungen auf:

- *Realität*: Gibt es physikalische Objekte, die physikalische Eigenschaften objektiv besitzen?
- *Lokalität*: Sind alle Wechselwirkungen lokal beschränkt, oder gibt es Fernwirkungen (bzw. Fernkorrelationen)?
- *Kausalität*: Welche Theorie der Verursachung kann den eben genannten Problemen Rechnung tragen?
- *Komplementarität*: Wie ist es zu verstehen, dass Aspekte komplementär sind?
- *Determinismus*: Gibt es in der Natur Zufall oder sind die Naturgesetze streng deterministisch?
- *Messprozess*: Welche Rolle spielen der Messprozess, der Beobachter und das Bewusstsein in der Physik?
- *Verifizierbarkeit*: Lässt sich die Theorie vollständig auf direkt beobachtbare Phänomene reduzieren?
- *Dekohärenz*: Wie können makroskopische (»klassische«) Phänomene im Rahmen der Quantenmechanik gedeutet werden?

Ist die wissenschaftliche Welt der Quanten nicht im Licht des Alltagsdenkens absurd?

13 Wie würden Bakterien ein Physikbuch schreiben?

Die Physik ist eine Wissenschaft, die alle kosmischen Dimensionen erforscht (Abb. 6).

Jeder Kosmos hat seine spezifischen Fragestellungen. Jeder Kosmos ist in den Augen des anderen Kosmos absurd. Wir sprechen und denken über den Makro- und Mikrokosmos aus der Sicht und mit den Begriffen und Denkkategorien des Mesokosmos und dürfen uns nicht wundern, wenn uns manches seltsam und absurd vorkommt.

Abb. 6.

Wenn Grippebakterien ein Physikbuch (etwa einen »Gerthsen« für studierende Bakterien) von 800 Seiten schreiben würden, welche Kapitel würde es enthalten? 600 Seiten würden sich mit

Thermodynamik beschäftigen und davon 500 Seiten speziell mit dem Temperaturbereich zwischen 36°C und 42°C. Ganz am Ende des Buches gäbe es ein schmales Kapitel über die neuesten erstaunlichsten Forschungen, nämlich zum Freien Fall. Kein Bakterium kommt durch einen Freien Fall zu Tode, wohl aber durch eine Fieberreaktion im genannten Temperaturbereich. Auf den Freien Fall käme die Wissenschaftlergemeinschaft der Bakterien durch das Studium des Todes des menschlichen Wirts beim Fall aus großer Höhe, vergleichbar unserem Studium des Todes von Sternen, die als Roter Riese enden und beim Sterben begleitend Elemente bis zum Sauerstoff hin erzeugen. Was veranschaulicht uns die Analogie? Die Wahrnehmung von Lebewesen ist in erster Linie auf das Leben und Überleben im umgebenden Kosmos hin ausgerichtet, dabei ist beim Menschen und vielen anderen Tieren auch das soziale Leben und Überleben eingeschlossen. Wie sähe wohl ein Optikkapitel im Physikbuch für Klapperschlangen aus? Alle Lebewesen sind in ihrer Farbwahrnehmung (Spektralbereich) sehr »wählerisch« in dem Sinne, dass sie selektiv auf ihr Überleben ausgerichtet ist.

Worin liegt das erkenntnistheoretische Potenzial dieses Themas?

Wir sprechen und denken über den Makro- und Mikrokosmos aus der Sicht und mit den Begriffen und Denkkategorien des Mesokosmos und dürfen uns nicht wundern, wenn uns manches seltsam und absurd vorkommt. Unser menschlicher Wahrnehmungs- und Erkenntnisapparat ist evolutionär in erster Linie für das Leben und Überleben so geworden wie er ist und nicht zum Entwickeln von Theorien der Physik. Die Tatsache, dass wir Menschen mit unserem Wahrnehmungs- und Erkenntnisapparat darüber hinaus zu derart intellektuellen und kulturellen Leistungen fähig sind, ist ebenso erstaunlich wie faszinierend. Somit tritt neben die Wahrnehmungserkenntnis die wissenschaftliche Erkenntnis. Sie beruht auf Experiment, Abstraktion, Begriffsbildung, Datenverarbeitung, logische Schlussfolgerung, Hypothesenbildung und Prüfung, kurzum unter Verwendung der gesamten Methodik und des Instrumentariums für wissenschaftliche Erkenntnisprozesse, Irren inklusive.

14 Erkenntnistheorie im Physikunterricht

Die Physik und der Physikunterricht sind voller Erkenntnistheorie. Folglich braucht nicht gefragt zu werden: Wie kommt die Erkenntnistheorie in den Physikunterricht, sondern: Wie nutzen wir die Erkenntnistheorie im Physikunterricht? Die erkenntnistheoretischen Kernaussagen aus den Beispielen des Unterrichts sind:

- Vorsicht bei ontologischen Zuschreibungen!
- Das Erkennen hängt ab vom Gegenstand selbst und meiner Wahrnehmung vom Gegenstand.
- Die Wahrnehmung ist nur bedingt verlässlich.
- Die Wahrnehmung allein entscheidet nicht über Wirklichkeit und Scheinbarkeit, sondern die erklärende Theorie, das »denkende Sehen«.
- »Richtige« Konstruktionen sind »passende« Konstruktionen.
- Individuelle Erkenntnisse sind Konstruktionen zum Zwecke des Verstehens.
- Wissenschaftliche Erkenntnisse lassen sich nicht durch »bloße Anschauung« gewinnen.
- Die Theorie bestimmt, was wir beobachten, was wir erkennen.
- Was als Erkenntnis generierend akzeptiert wird, hängt von den metaphysischen Hintergrundüberzeugungen und den kulturellen Erkenntnisgewohnheiten ab.
- Physik produziert Phänomene und macht das Unsichtbare sichtbar.

- Erkenntnisse sind immer nur Erkenntnisse über die selbst entworfenen Weltbilder.
- Das Experiment ist eine neue Erkenntnisquelle.
- Die neue Wissenschaft produziert Phänomene, die sie zum eigenen Erkenntnisgegenstand macht.
- Die wissenschaftstheoretischen Auffassungen bestimmen, was wir wahrnehmen und erkennen.
- Wahrheiten beruhen auf Evidenzvereinbarungen.
- Nur wenn ich die Evidenzvereinbarungen akzeptiere, kann ich eine Erkenntnis als wahr betrachten.
- Wir machen Aussagen über Weltbilder, nicht über die Realität.
- Wir sprechen und denken über den Makro- und Mikrokosmos in Begriffen und Denkkategorien des Mesokosmos.
- Jeder Kosmos ist in den Augen des anderen absurd.
- Unser Wahrnehmungs- und Erkenntnisapparat hat sich evolutionär in erster Linie für das Leben und Überleben hin entwickelt und nicht um Wissenschaft zu betreiben.
- Wissenschaftliche Erkenntnisse entstehen als soziales Geschehen im Diskurs. Der Diskurs muss öffentlich kontrollierbar sein, damit Korrekturen möglich sind.

Erkenntnistheorie (auch Epistemologie; griechisch *episteme*: Kenntnis, Wissen; *logos*: Vernunft, Sprache) ist eine Disziplin der Philosophie, die sich mit philosophischen Fragen der Erkenntnis beschäftigt (vgl. G. VOLLMER, 1983, 2):

- Was ist Erkenntnis? (*Begriffsexplikation*)
- Wie erkennen wir? (*Wege und Formen*)
- Was erkennen wir? (*Gegenstand*)
- Wie weit reicht unsere Erkenntnis? (*Umfang und Grenzen*)
- Warum erkennen wir gerade so, dies und nur dies? (*Erklärung*)
- Wie sicher ist unsere Erkenntnis? (*Geltung*)
- Worauf beruht ihre Sicherheit? (*Begründung*)

Die Aufgabe einer Didaktik der Erkenntnistheorie ist es, diese Fragen zu didaktisieren, d. h. sie lehr- und lernbar zu machen und methodisch in den Horizont der Schüler zu bringen. Dazu müssen sie an Unterrichtsthemen angebunden werden oder zu Unterrichtsthemen gemacht werden, dazu müssen die Fragen auf die Verstehensbedingungen der Schüler hin altersgerecht aufbereitet werden.

Die Praxis des Physikunterrichts zeigt, was sich didaktisch begründen lässt:

- Erkenntnistheorie kann auf allen Schulstufen getrieben werden.
- Erkenntnistheorie kann an allen Themen der Physik getrieben werden.
- Erkenntnistheorie ist originärer Bestandteil der Physik und nicht ergänzender Zusatz.
- Erkenntnistheorie ist grundsätzlich im Physikunterricht enthalten, sie muss nur freigelegt und aufgegriffen werden.

Literatur

BLUMENBERG, H. (Hg.) (1980). *Galileo Galilei Sidereus Nuncius* (Nachricht von neuen Sternen), *Dialog über die Weltsysteme* (Auswahl), *Vermessung der Hölle Dantes Marginalien zu Tasso*. Berlin: Suhrkamp.

BRECHT, B. (1967). *Leben des Galilei. Schauspiel*. Berlin: edition suhrkamp.

KANITSCHIEDER, B. (1984). *Kosmologie*. Stuttgart: Philipp Re-

clam.

KRAFFT, F. (1970). *Dynamische und statische Betrachtungsweise in der antiken Mechanik*. Wiesbaden: Steiner.

LANG, J. (1938). *Die Hohlwelttheorie*. Frankfurt: Schirmer.

LEISEN, J. (1999). *Der Szenische Dialog. Ein unterrichtsmethodischer Vorschlag zu Physik und Philosophie*. Praxis der Naturwissenschaften – Physik (4), 35–37.

MUCKENFUSS, H. (2000). *Retten uns die Phänomene? Anmerkungen zum Verhältnis von Wahrnehmung und Theorie*. Plus Lucis (3), 10–14.

REICHENBACH, H. (1928). *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*. Berlin und Leipzig: de Gruyter.

SCHLICHTING, H. J. (ohne Jahr). *Die Erd' ist ein Planet. Vom physikalischen Blick am Beispiel von Galileis Blick durch das Fernrohr*. Manuskript.

SEXL, R. (1983). *Die Hohlwelttheorie*. MNU, 36, 453–460.

VOLLMER, G. (1983). *Evolutionäre Erkenntnistheorie*. Stuttgart: Hirzel.

V. WEIZSÄCKER, C. F. (1964). *Die Tragweite der Wissenschaft*. Erster Band. *Schöpfung und Weltentstehung. Die Geschichte zweier Begriffe*. Stuttgart: Klett.

OSfD JOSEF LEISEN, Peter-Joseph-Rottmann-Straße 20, 56077 Koblenz, josef.leisen@studienseminar-koblenz.de, ist Leiter des Staatlichen Studienseminars Koblenz für das Lehramt an Gymnasien, war vormals Fachleiter für Physik und hat einen Lehrauftrag für Didaktik der Physik an der Universität Mainz. ■□

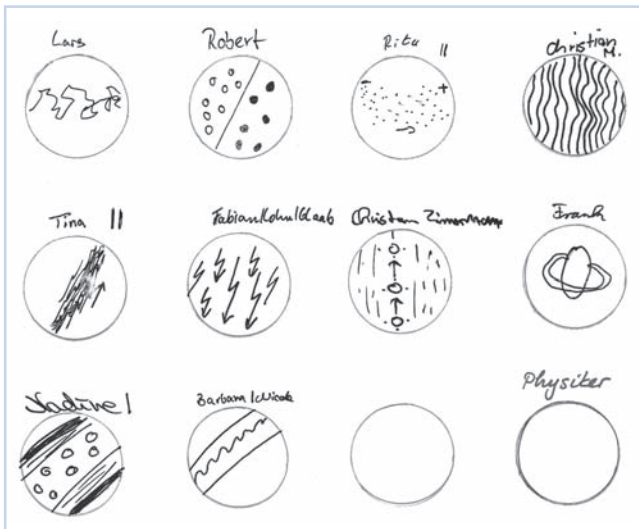


Abb. 1. Schülerdarstellungen zum elektrischen Strom



Abb. 2. Die Neue Wissenschaft (Foto Deutsches Museum München)

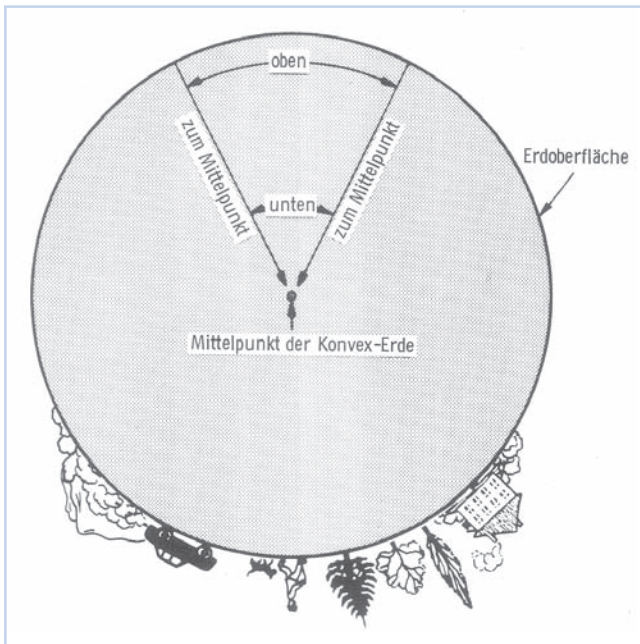


Abb. 3. Vollerde (R. SEXL 1983, 454)

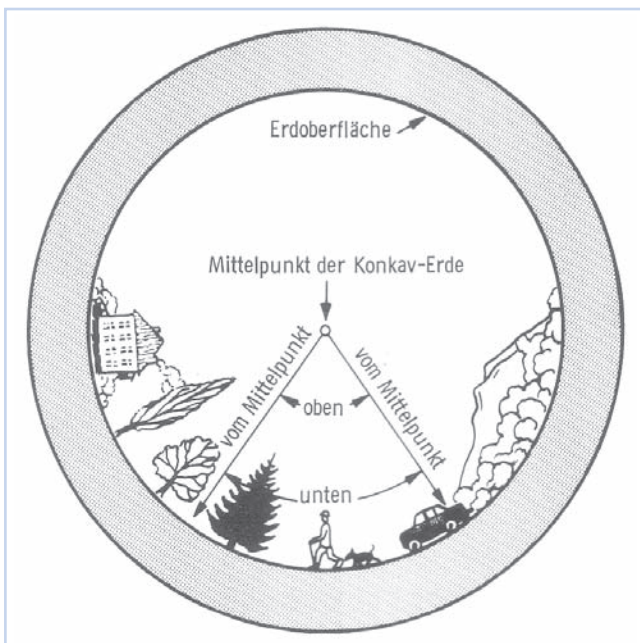


Abb. 4. Hohlerde (R. SEXL 1983, 454)

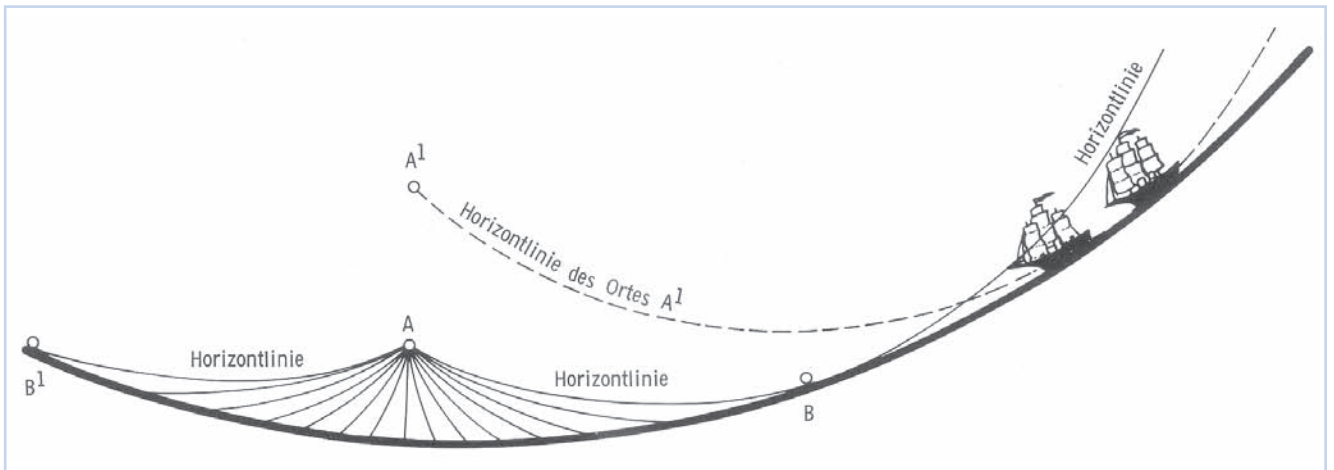


Abb. 5. Horizontlinien (R. SEXL 1983, 458)

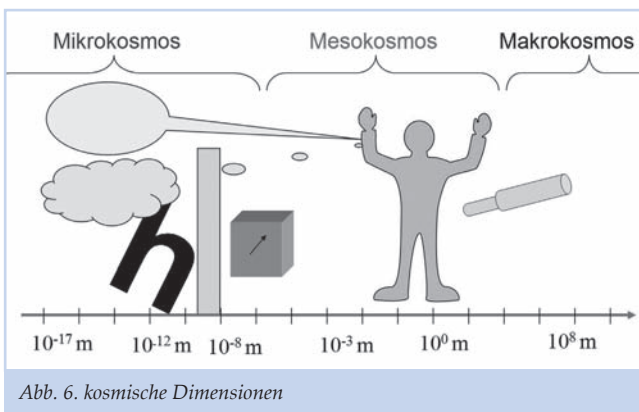


Abb. 6. kosmische Dimensionen